JAXA's
016［ジャクサス］
宇宙航空研究開発機構機関誌

016 宇宙航空研究開発機構機関誌

c o n t e n t s

表紙：中村安雄 「WINDS」プロジェクトマネージャ
photo：Yuichi Akiyama

INTRODUCTION

9月14日、台風が迫る前の一瞬の晴れた青空へ打ち上げられたH-IIAロケット13号機。搭載された月周回衛星「かぐや」は、正常に分離して月へと向かいました。その「かぐや」の月への道のりを見開きでご紹介します。表紙には、「かぐや」の次にH-IIAロケットで打ち上げられる超高速インターネット衛星「WINDS」の中村プロマネにご登場いただきました。猛暑といわれた今夏の暑い盛りに発表された「北極海の海氷面積の減少」。その現状をJAMSTEC（海洋研究開発機構）に取材しました。「だいち」の画像解析の記事と併せて、衛星の活躍をお読みください。地球環境の話題が続いたところで、最後は「宇宙農業」を取り上げました。遠い将来、火星で暮らす日々に思いをめぐらせたところで、季節はそろそろ秋を迎えます。

今年度中の打ち上げに向け準備が進む

超高速インターネット衛星

超高速インターネット衛星「WINDS」（想像図）

宇宙利用推進本部
WINDSプロジェクトチーム
プロジェクトマネージャ
中村安雄

NICT（独立行政法人情報通信研究機構）と共同で開発が進められ、世界最高水準の高度情報ネットワークの形成をめざす超高速インターネット衛星「WINDS」の打ち上げが、いよいよ今年度冬期に迫りました。今回は、このWINDSの開発を担当する中村安雄プロジェクトマネージャに話を聞きました。

（インタビュアー・寺門和夫）

W I N D S

世界最高速の通信性能で情報社会の格差解消をめざす

寺門　まず最初に「WINDS」の目的について教えてください。

中村　WINDSは、世界最高水準の高度情報通信ネットワーク社会を構築するという政府の大きなIT戦略の重点計画の1つとして位置づけられており、衛星を使った超高速インターネット社会の構築に貢献するということを目的としています。具体的には小型のユーザー局でも非常にスピードの速い通信ができる技術の開発と実証が大きな目標になっています。直径45cmくらい、つまり今使われている衛星放送の家庭用アンテナと同じくらいの大きさのアンテナで、ユーザーから送る速さが毎秒6メガビット、受けるほうでは毎秒155メガビットの通信が可能になります。商業的に使われている光ファイバーと同等以上の通信ができるというのが大きな特徴です。それから、直径5mぐらいのアンテナ、これは将来的には企業レベルで使うことを想定したものですが、これを使うと毎秒1・2ギガビットという世界最高速の通信性能が実現できます。

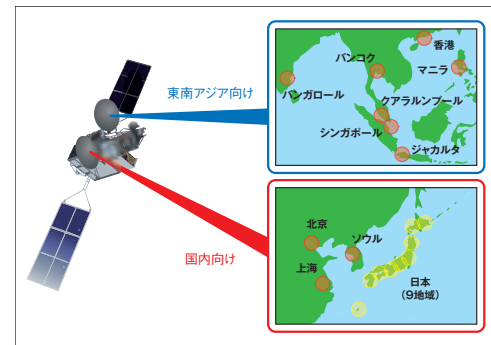
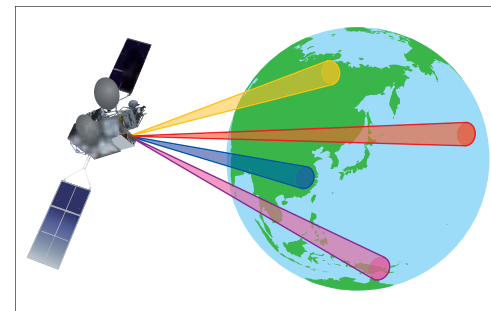
寺門　実際にどのような使い方をされることになるのでしょうか。

中村　1つは企業等の大容量通信向けですね。メインの通信ルート

Ka帯マルチビームアンテナ
（国内及び近隣国向け）

Ka帯マルチビームアンテナ
（東南アジア向け）

Ka帯アクティブ・
フェイズドアレイ・アンテナ

としての働きを考えています。インターネットの基幹回線、たとえば企業間の基幹回線に災害などで何らかの障害が出たとしても、それをバックアップするような使い方が想定できます。それから小型のアンテナで非常にハイスピードの通信ができるので、インターネット環境が必ずしも十分に整っていないところでも格差のない環境がつくれます。「デジタル・デバイドの解消」という言い方をしますが、そういうところにこのWINDSの技術が大きく貢献できると思っています。さらに、災害時の使い方にも大きな期待がかけられています。自然災害が発生した際、現地の情報を迅速に伝えたり、中央からの情報が被災地に的確に届くことは非常に重要なことです。そのほか、教育や医療の分野、それからアジア地域での国の公共的な事業を想定した実験に使うことも期待されております。

日本だけでなくアジア主要都市をカバー

寺門　アジア地域での使われ方について、もう少し詳しく伺いたいのですが。

中村　WINDSは、もともとアジア太平洋地域の通信環境の改善に日本が貢献するということを大きな目標にしています。WINDSではJAXA、NICTが行う実験に加えて、総務省がこの衛星を使った実験の公募を行いました。全部で53件の実験テーマが選定されましたが、その中にはアジアの国々からの参加もかなりあります。教育、防災、医療などの分野ですが、特に多いのは教育分野ですね。WINDSは通信速度が非常に速いということだけでなく、交換器を積んでいますので、非常に優れた使い方ができるようになります。これまでの衛星を使った教育では、先生が生徒に授業をするという一方向の流れだけでしたが、WINDSでは先生と学生の間、それから学生同士で自由に通信ができるのです。WINDSが上がった後、アジアの人にもたくさん使っていただいて、通信環境の改善に役立てていただければいいなと思っています。

寺門　WINDSはどのくらいの範囲をカバーできるのですか。

中村　WINDSが搭載しているアンテナの1つはマルチビームアンテナと呼ばれるもので、日本全土を9つのビームでほぼカバーします。それにプラスして、別のマルチビームアンテナも積んで、アジアの主要10都市をカバーします。これらはビームを送る地域を固定したアンテナですが、このほかに、固定ビームを照射していない地域でも高速通信が実現できる技術の検証のために、電波の向きを自在にコントロールできるアクティブ・フェイズドアレイ・アンテナも積んでいます。このアンテナは2ミリ秒間隔でビームの方向を切り替えることができます。これらを使うことによって、ほぼ地球の3分の1をカバーすることが可能です。

寺門　技術的にはどんな特徴がありますか。

中村　Ka帯という20GHzから30GHzの高い周波数帯を使っているということ、マルチビームアンテナを使っていること、それからマルチポートアンプという増幅器を並列して使う新技術を開発したことです。これらによって、非常に小型のユーザー端末でも高速のデータ通信ができ、大型アンテナを使えば世界最高速のスピードが出ます。これを従来の衛星で実現しようとすると、非常に大きな受信アンテナが必要となります。また、アクティブ・フェイズドアレイ・アンテナにより地球上の広い範囲をカバーしていることも特徴の1つです。

Ka帯としては世界初 降雨時でも安定した通信を維持

寺門　世界で初めての試みはありますか。

中村　Ka帯を用いた広帯域高出力の衛星搭載通信システムは世界最先端の技術といえると思います。たくさんのデータを送るという意味ではKa帯のような高い周波数の方がいいのですが、周波数が高くなれば高くなるほど、雨によって電波が途中でどんどん弱くなってしまいます。これを解決するには、基本的には強い電波を出せばいいのですが、太陽電池の電力には限りがあります。これまでの衛星ではいっせいに電波を送っていたわけですから、雨のところでは電波が減衰してしまう。晴れているところはもう少し弱い出力でもよいという状況でした。WINDSでは日本国内を北海道から沖縄まで9つのビームでカバーしていますが、それぞれのビームの出力を、雨の降っているところでは強く、晴れているところでは弱くする。そういう自在な制御ができるような技術を開発しました。これはKa帯の周波数を使う衛星としては世界で初めてのことです。

寺門　打ち上げに向けて、衛星はいまどの段階まで来ていますか。

中村　今年度冬期の打ち上げをめざして、一連の試験がほぼ最終の段階に入っています。それが終われば筑波宇宙センターを出て、種子島宇宙センターに輸送されます。そこで最終的な組み立てをし、チェックをして打ち上げられます。

寺門　WINDSに対してどのような期待をお持ちですか。

中村　WINDSが上って、衛星を使ったインターネットというものが地上のインターネット網と互いに助け合って、それぞれの能力を生かしてきちんと働くことを示したいと思います。今はインターネットを通じて大変便利な生活ができるようになりました。たくさんの人にWINDSを使っていただき、WINDSの技術によって格差のないインターネット社会の実現に貢献できるようにしたいですね。

マルチビームアンテナ
（日本及びアジア主要都市をカバー）

東南アジア向け
バンコク
香港
マニラ
バンガロール
クアラルンプール
シンガポール
ジャカルタ
国内向け
北京
ソウル
上海
日本（9地域）

国内向けマルチビームアンテナは、日本（9地域）及びソウル、北京、上海を、東南アジア向けマルチビームアンテナは、香港、マニラ、バンコク、クアラルンプール、シンガポール、ジャカルタ、バンガロールをカバーします。

アクティブ・フェイズドアレイ・アンテナ
（アジア・太平洋の広い地域をカバー）

マルチビームアンテナのほかに、電子走査型の広域カバーアンテナ（アクティブ・フェイズドアレイ・アンテナ）を搭載し、地球上の約3分の1を占めるアジア・太平洋の広い地域を対象に通信方向の迅速な切り替えが可能です。

各種試験を経て順調に整備が進む。
上：放射試験（2007年5月）
下：質量特性試験（2007年6月）

W I N D S

観測史上最小となった北極海の海氷

これまで北極海で夏の海氷面積が最小になったのは2005年の9月22日であった。ところが今年夏の海氷面積は2005年を大幅に上回るペースで減少しており、8月15日に過去最小を下回った。この状況はJAMSTEC(海洋研究開発機構)とJAXAにより発表され、猛暑が続き熱中症が相次いでいた8月中旬の日本列島にニュースとして大きく報道された。

AMSR-Eがとらえた2005年9月22日(左)と2007年8月15日(右)の北極海の海氷状況。
2007年はシベリアおよび北アメリカ海域の氷の減少が目立つ。
※南極が雪が降り積もってできた平均約2000mの厚さの氷床でおおわれた大陸であるのに対し、北極海は厚さ3mほどの海氷でおおわれた海である。この北極海を夏におおう海氷の面積が急激に減ったという現象は、単に大気温度の上昇(温暖化)が原因で起こったと即断すべきではない。
北極海の海氷減少には、「(氷が)溶ける」、「(氷が)できない」、「(氷が)北極海から出ていく」の3つの要因がある。
「とける」という視点だけでなく、他の2つの減少要因にも視点を向けなければならない。

グリーンランドから北米カナダの沿岸域で海氷が大崩壊

JAXAの「北極圏研究ウェブサイト」には「北極圏海氷モニター」というページがあり、毎日の海氷の様子を公開している。これはNASA(米国航空宇宙局)の地球観測衛星「Aqua」に搭載されたAMSR−EというJAXAのセンサーが取得したデータである。AMSR−Eは大気や地球表面から放射されるマイクロ波を測定するセンサーで、主に水に関連した情報を得ることができる。

北極海の海氷を観測・研究しているJAMSTEC(海洋研究開発機構)地球環境観測研究センター北極海気候システム研究グループの島田浩二グループリーダーがAMSR−Eのデータを見ていて、太平洋側北極海の海氷異変に気がついたのは、6月はじめのことだった。前年の秋からの海氷回転運動が著しく大きかったのである。

「夏のはじめというか、まだ春の終わりだというのに、海氷の〝密接度〟がかなり下がっていました。まだ気温が低い結氷期に〝密接度〟が下がったのだから、とけたせいで氷でおおわれる割合が減少したわけではない。何が起こったのだろうと思いました」と島田グループリーダーは言う。「密接度」というのは、海が海氷でどれくらいおおわれているかの割合である。

そこで島田グループリーダーは、北極圏研究ウェブサイトを担当しているJAXA地球観測研究センターの堀雅裕研究員に依頼して、「Aqua」に搭載されているNASAの光学センサーMODISの画像も見てみることにした。

「私たちは(AMSR−Eだけでなく)MODISのデータも入手して解析しています。光学センサーの方がやはり直感的にわかりやすいんですね。島田さんが、このあたりがどうなっているか見てみたいとおっしゃるので、画像を見ていただくことにしました」と堀研究員は語る。

こうして島田グループリーダーが見ることになった6月9日の北極海太平洋側の海氷の画像は、衝撃的なものであった。

「グリーンランドから北米カナダに至る沿岸域で海氷が崩壊しており、〝融解〟ではなく〝海氷が粉々になった〟ことが海氷密接度が下がった原因であるとわかりました。世界最強の砕氷船を使っても入ることができないといわれていた、このエリアの海氷が大崩壊を起こしていたのです」

海氷面積は驚くべきスピードで減少

北極海をおおう海氷のうち、太平洋側の部分は時計まわりに回転する動きをしている。グリーンランドから北米カナダに至る沿岸域の海氷が割れて粉々になっている6月9日のMODISの画像は、この回転スピードが急に速まるきっかけとなったことを意味していた。実はこの海氷の回転こそが、北極海の温暖化にとって決定的な役割を果たす。

「海氷の回転を起こすもともとの力は風なのですが、回転によって氷の下の海水が動き、太平洋の暖かい海水が北極海に流れこんでくる。これによって、まず冬季の海氷成長が抑えられ、薄い状態で夏を迎えてしまう、その結果もろい薄氷の融解が進んでいくのです」と島田グループリーダーは語る。回転のスピードが速まれば、それだけ北極海の温暖化は加速される。

「周囲をユーラシア大陸や北アメリカ大陸に囲まれた〝よどんだ海〟であった北極海が、〝はげしく動く海〟に変貌をとげたのです」

これまで沿岸部に固くはりついていた、厚くとけにくい〝多年氷〟が崩壊して、暖かい南の海へ移動していく。そして、できたての氷は、温暖な海域を通過して北へ移動する。このような薄くもろい氷が北緯80度を越えて北に広がっていたことが確認されたため、夏の海氷面積の最低値更新が6月時点で予想できたのである。

海氷面積が最小になるのは毎年9月。したがって今年、史上最低の面積になるとしても、それは8月下旬か9月に入ってからと考えられていた。ところが、海氷面積は驚くべきスピードで減少していった。衛星光学センサーの観測データを用いて積雪や海氷の解析をするかたわら、北極圏の研究プロ

2005年6月8日(左)と2007年6月9日(右)のMODISによる北極海の画像。
2007年の画像では、多年氷が崩壊して、できたての薄くもろい氷が北に広がっているのが確認できる。

JAMSTEC地球環境観測研究センター
北極海気候システム研究グループ
島田浩二グループリーダー

JAXA地球観測研究センター
堀雅裕研究員

ジェクトも推進している堀研究員は、次のように語る。

「今年春から北極圏研究センターのウェブサイトに毎日のAMSR－Eの海氷画像を公開しはじめたのですが、あれよあれよという間に海氷が減っていきました。まさかこんなふうになるとは思いませんでした」

なぜこれほどまで速いスピードで海氷が減少したのか。MODISの画像を動画にして解析したところ、シベリア沖に低気圧の渦が停滞し、南風が吹く渦の東側の海域で急速に海氷が減少していることがわかった。

「一般にMODIS画像では、雲は海氷の詳細を捉える障害となりますが、今回は逆に、雲が見えることで大気の動態がわかりました。異種の衛星データを多角的に調べて、見えてくること、理解できることが多くあり、それは将来の衛星による地球観測計画を立てる上でも大事なことです」

2003年8月31日(左)と2007年8月19日(右)に北極海の観測船から撮影した海氷。
（提供・海洋研究開発機構）

船舶や自動観測ブイの観測データと併用

今年のIPCC（気候変動に関する政府間パネル）の第4次評価報告書では、今世紀の末までに北極海の夏の海氷がなくなるかもしれないという予測を発表している。また昨年、アメリカの研究グループは2040年までに夏の海氷がほぼなくなってしまうというシミュレーション結果を発表した。

島田グループリーダーは、こうしたシミュレーションに使われる予測モデルでは、実際に北極海で起こっている現象が十分には表現されていないと話す。海氷面積の減少は、北極圏の気温上昇に応じて毎年少しずつ減っているわけではない、というのである。

「太平洋側北極海の海氷の面積は1980年代から1年間に0・6％の割合で減ってきたのですが、1997年に1年間で25％も減ってしまいました。海氷下の海水温も同時に急激に上昇しました。それからは元に戻ってはいません。もしかしたら、今年も同じようなことが起こっているのかもしれません。しっかりした観測データを取得して、元に戻らない北極海の海氷減少のメカニズムを明らかにし、それを予測モデルに反映させなければ、数字だけが一人歩きしてしまうことになります」

北極海の海氷がどうしてなくなっていくのかを解明するには、JAMSTECが北極圏で行っている船舶や自動観測ブイなどによる観測データと、JAXAの衛星データとを統合し、多角的に解析することに非常に大きな意味がある。

「私たちは衛星データを提供しています。島田さんのように現場をよく知っている方なら、そのデータからいろいろな変化を見抜くことができるでしょう」と堀研究員は言う。島田グループリーダーは今後、陸域観測技術衛星「だいち」のデータなども利用したい考えだ。

北極海の海氷は太陽光をほとんど反射してしまう。ところが海氷が消滅した場所は、太陽熱を〝受け入れない場所〟から〝受け取りたくわえる場所〟に変貌してしまう。それが地球表面温度の上昇をもたらす。島田グループリーダーの言葉を借りれば、「北極海は地球温暖化の〝加速器〟」ということになる。

今年と来年は、極地研究を国際的に行うIPY（国際極年）に当たる。JAMSTECとJAXAの連携によって、地球の未来に大きなインパクトを与える北極海の変化についての理解が進んでいくことを期待したい。

（取材・文／寺門和夫）

北極海の海氷の減少は、北極圏にすむ動物にも深刻な影響を与えている。
ホッキョクグマは海氷の上でアザラシなどの獲物を獲るが、その海氷が消えていくため、生存が困難になりつつある。（提供・海洋研究開発機構）

JAMSTECが北極海での継続観測に使用している
自動観測ブイ。水深250mまでの水温、塩分濃度、海流、
海氷上の気温、気圧などの測定ができる。
（提供・海洋研究開発機構）

JAXAのここが聞きたい

ミッションへ向け、宇宙飛行士はどんな訓練をするの？

前回、宇宙飛行士の基礎訓練とアドバンスト訓練の様子を眺めてみましたが、
今回と次回の2回に分けて、フライトが決まった宇宙飛行士が行う、
任務の遂行に必要となる実践的な「インクリメント固有訓練」について、
筑波宇宙センターで宇宙飛行士の訓練を担当する
有人宇宙技術部の山方健士さんにお話を伺いました。

訓練で世界を飛びまわる宇宙飛行士たち

国際宇宙ステーションに搭乗のための訓練期間は22か月程度（約2年）ですが、宇宙飛行士はきわめて多忙です。アメリカとロシアを往復しながら訓練を受けるほか、約2か月はカナダやヨーロッパ、日本でも訓練を受けることになります。というのは、カナダのロボットアーム、ヨーロッパの「コロンバス」実験棟、日本の「きぼう」実験棟の訓練は、各国の宇宙機関にある専門の訓練施設で行うからです。筑波宇宙センターには今後、海外から多くの宇宙飛行士が訪れることになるでしょう。

これらのシステムや実験機器の訓練では、各クルーが国際宇宙ステーション上で受け持つ役割分担に応じ、それぞれに見合ったレベルの訓練を施されます（世界各国を旅するのは魅力的かもしれませんが、宇宙飛行士は約半年は家族と離れて暮らし、異なる時差に対応しながら訓練を続けるため非常に過酷です）。

筑波宇宙センターの「きぼう」日本実験棟の訓練で、
ロボットアームの組み立て、起動手順の訓練を受ける
若田光一宇宙飛行士（2006年1月）

役割分担に応じて訓練レベルがちがう

その飛行士が「ユーザー」レベルでよければ、実験機器の簡単な操作（試料の入れ替えなど）ができる程度の訓練になります。その上の「オペレーター」レベルでは、通常運用のほかに、ちょっとしたトラブルへの対処もできるような訓練を行います。さらに上の「スペシャリスト」レベルになれば、故障した箇所を自分で修理できるような高度な専門知識と技能を身に付けなければなりません。

(C)ESA/DLR

ドイツにある
欧州宇宙機関（ESA）の
欧州宇宙飛行士センターで、
国際宇宙ステーションへの
物資輸送を行う欧州補給機（ATV）の
モックアップ内で訓練を行う
野口聡一宇宙飛行士（2006年5月）

日本人宇宙飛行士は「きぼう」については、当然のことながらスペシャリストにならなくてはなりません。ただし、国際宇宙ステーションに日本人宇宙飛行士が不在の時には、アメリカ人宇宙飛行士が「きぼう」の運用・管理を代行します。そのため、彼らも「きぼう」のスペシャリストとしての訓練を受けます。

ただし、いずれのレベルでも訓練に用いる設備などは共通で、受ける講義や訓練内容の深さが異なるのです。訓練の進捗状況は各国の訓練担当が集まる会議で把握し、限られた期間内にきちんと履修できるようカリキュラムが練られます。

筑波宇宙センターの「きぼう」日本実験棟の訓練で
エアロック内のロンチロック（打ち上げ用の固定）解除手順を訓練中の
若田光一宇宙飛行士（手前）（2006年1月）

Road to the Moon

「かぐや」月までの道のり

信じられないようなロングパットをカップに沈めるグリーンの帝王や、意表を突くパスを味方の足下にピタリと収めるファンタジスタ、フェンス直撃の大飛球をレーザービームでキャッチャーミットに送り込むスーパースター——。

超一流のファインプレーと「かぐや」の軌道制御が似ているのは、その場（フィールド）を支配する物理の法則に忠実である点だ。宇宙に芝目はなく風も吹かないが、地球は自転し、その周りを月は公転し、スラスタが発生する推力には上限があり、推進薬も有限だ。与えられた制約の中で持てる力を最大限に発揮することでファインプレーは成り立つが、「かぐや」はそれを一度きりのファインプレーでなく、再現可能な技術として習得しようとしている。科学観測と並ぶ「かぐや」のミッションなのである。

有人ミッションであるアポロは約4日で月に到達した。一方の「かぐや」は長い楕円を描いて地球の回りを1周、2周し、3周目の半ばにさしかかる手前で月と出会う。まるで新体操のリボンの軌跡のような複雑で不思議な軌道をたどるのは、「より確実性を増すため」だ。

このページでは「かぐや」の軌道上に月周回軌道投入までの主要イベントをプロットし、順を追って解説した。今年の中秋の名月の味わいに彩りを添えられれば幸いである。

（文／喜多充成）

1 打ち上げ・衛星分離
H-ⅡAロケットにより10.5km/sまで加速され、周期約5日・遠地点約23万kmの長楕円軌道（第1周回）に投入。

2 太陽電池パドルなどを展開
太陽捕捉、アンテナ展開、三軸姿勢制御確立などを行う。

3 マヌーバ（軌道投入誤差修正）
「かぐや」の位置や速度を電波を使って精密に測定。それに基づいてスラスタを噴射する方向と量を決め、命令を送り、軌道の調整を行う。

4 マヌーバ（周期調整）
第2周回では遠地点約40万kmで約10日の周期を持つ楕円軌道に投入される。月までの平均距離は約38万kmなので、それより遠い位置まで到達することになる。第1周回の終わりの近地点（ペリジ）での噴射量を調整することで、第2周回の周期を変えることができる。第2周回は、月軌道投入の精度を高めると同時に、打ち上げ日の変更に伴う軌道の違いを調整するバッファーとしても機能する。

5 マヌーバ（月周回条件調整）
月と「かぐや」が正確に出会うための条件の微調整を行う。ゴルフでいうアプローチショットに相当する。

6 月周回軌道投入
地球に対する月の公転速度は約1km/s。いっぽう月軌道投入前の「かぐや」は約100m/s。月の重力につかまえてもらうためには、「かぐや」を月の公転方向に沿って加速する必要がある。走り込んでくる自動車に飛び乗るような、カースタントさながらのクリティカルな瞬間だ。長野県臼田・鹿児島県内之浦のJAXAの大型アンテナから月が見えている間にこのイベントが起こるよう逆算して、軌道設計が行われた。

7 子衛星分離
この後、リレー衛星とＶＲＡＤ衛星の２機の子衛星を異なる高度で分離、「かぐや」主衛星はその後も徐々に高度を下げながら高度100kmの円軌道で観測準備に入る。

月の公転面上から見た軌道の全体図
「かぐや」の長楕円軌道の軌道面は赤道面から約30度傾いている。

北極の上空から見た軌道の全体図
「かぐや」の打ち上げから月到達までの間に、月は地球の周りを約4分の3周することになる。月到達するまでのほぼ全期間で、地球から見た「かぐや」は月とは違う方角にいることになる。
＊月軌道外側のイラストは、地球から見た月の満ち欠け

合成開口レーダーPALSARによる観測・解析

「だいち」の画像ができるまで

２００６年１月に打ち上げられた陸域観測技術衛星「だいち」は、「ＰＲＩＳＭ」（パンクロマチック立体視センサ）と「ＡＶＮＩＲ-２」（高性能可視近赤外放射計２型）の２つの光学センサーのほか、レーダーを使って昼夜・天候によらず観測できる「ＰＡＬＳＡＲ」（フェイズドアレイ方式Ｌバンド合成開口レーダー）を搭載しています。このＰＡＬＳＡＲは、地震や洪水、火山噴火などの大規模災害の際に迅速に情報を提供しており、今年に入ってからも能登半島地震や中越沖地震などで次々と発表した地殻変動図が人々に強いインパクトを与えました。このＰＡＬＳＡＲの地殻変動図がどのようにつくられるのかについて、「だいち」の島田政信サイエンスマネージャに話を聞きました。

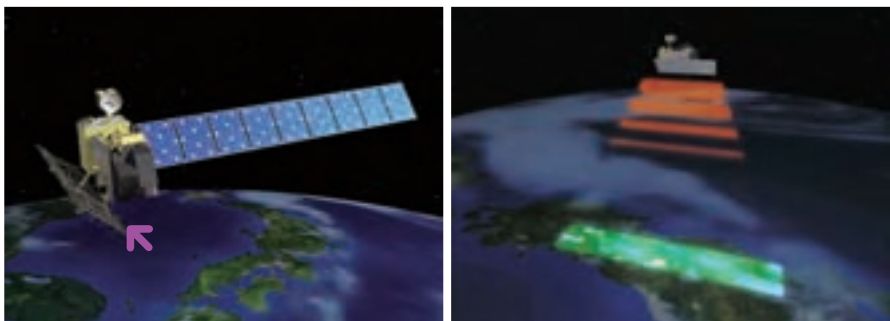
宇宙利用推進本部
地球観測研究センター
研究領域リーダ
島田政信

打ち上げ1年半でほぼ日本全国をカバー

——「だいち」に搭載された合成開口レーダー「ＰＡＬＳＡＲ」では、地球を回りながら、どんな観測を行っているかについてうかがいたいと思います。打ち上げから1年半以上がたちました。現在、どのくらいの観測ができているのでしょうか

島田　「だいち」はかなり高い頻度で観測を行っています。データ量でいうと毎日６９０ギガバイトくらい。そのうち、約半分がＰＡＬＳＡＲのデータです。これまでにＰＲＩＳＭで67万シーン、ＡＶＮＩＲ−２で27万シーン、そしてＰＡＬＳＡＲで42万シーン撮っています（２００７年7月末時点）。8万シーンで地球上の陸域をカバーできますから、だいたい5回分くらいのデータを蓄積していることになります。

——先日の中越沖地震の際には、ＰＡＬＳＡＲのデータを使って、どれだけの地殻変動があったかが発表され、本誌でもその画像を紹介しました。あのような「差分干渉処理」の画像をつくるには、地震が起こった後の震源域のデータだけでなく、地震が起こる前のデータも必要になるわけですが、日本については、ほとんど全国のデータがそろっているということですね。

島田　ＰＡＬＳＡＲは電波を放射する角度を18段階変えることができます。これをフルに用いるのは災害時などのことで、普通は21・5度、34・3度、41・5度という3つの角度で観測をしています。ただし、1回の観測では1種類の角度しか使えません。現在、41・5度では日本全国の9割をカバーしています。34・3度で78％、21・5度で54％です（7月末時点）。34・3度は比較的早く日本全国をカバーできると思いますので、どこで地震が起こっても、中越沖地震の時と同じように、すぐに地殻変動図をつくることができるようになります。

「だいち」の合成開口レーダー「PALSAR」（矢印部分）と観測イメージ（想像図）

2007年８月16日に起きたペルー地震の観測結果。
青→黄→赤→青の順番の色変化は地面が隆起していることを示します。
震源地周辺において、最大約1.3mの隆起が見られます

軌道や高さを補正し、それからノイズを除去

——8月16日のペルー地震でも観測結果が発表されましたが、この場合も地震発生前のデータが撮れていたわけですね。

島田　はい、そうです。地震が起こってすぐに、検索ソフトを使って、過去にその場所を、どの角度で撮っているかを調べました。同じ角度のデータでなければ、比較はできませんから。その後、地震発生後のできるだけ早い時期に新しいデータを撮って、画像をつくったわけです。

——レーダーは衛星と地面との距離を測ります。「差分干渉処理」というのは、地震発生前後の距離の差から、地面の動いた量を知る方法ですが、実際にはどのような処理が行われるのですか。

島田　まず、2つの画像の差をとります。差というのは、ＰＡＬＳＡＲと地面の距離の差です。少しややこしいのですが、ＰＡＬＳＡＲが観測したデータには、ＰＡＬＳＡＲ自身と地面との距離の情報が含まれています。2つの画像の差をとるとこの差が出てくるわけです。もし人工衛星が46日ごとに、寸分たがわずまったく同じ軌道を飛ぶと、画像の差には46日間の距

差分干渉処理の画像はこうしてできる

（２００７年３月25日の能登半島地震の例）

マスター
2007年4月10日の画像

比較用
2007年2月23日の画像

1 初期干渉画像

拡大

マスターと比較用の画像を干渉させると、このように非常に細かい縞が現れます。この中には、２つの軌道が離れていることによる縞（軌道縞）、地形が高さをもっていることによる縞（地形縞）、その他の縞（軌道が正しくないこと、水蒸気、電離層により電波の進む速さが場所により異なることによる縞）が含まれます。これを１つずつ取り除きます。

2 軌道縞の補正

この結果、等高線＋地殻変動の縞が現れます。

3 地形縞の補正

地殻変動に近い画像が得られます。「だいち」の軌道（精度40cm以内）は昔に比べて格段によくなりましたが、それでもまだまだ不十分です。そこで、地形が変化しなかったところを参考にして、高精度軌道修正を行います。その結果が、ここにある最終の一歩手前のものです。

4 最終版

SAR処理の画像は地図とは少し離れた形状をしていますので、最後の修正として地図に合う処理（地図投影といいます）を行い、最終版とします。

PALSARで観測したアマゾンの森林伐採（黒く見えるところが伐採領域）。
左画像はそのうちの一部を切り出したもの（10km四方）

離のちがい、つまり地面がどれくらい隆起したか、沈降したかがそのまま含まれることになります。
──ところがそうではないのですね。
島田　ええ、同じ軌道を飛ばそうと思ってもそう上手くはいかず、その軌道のズレが地殻の変動を大げさに見せるのです。軌道がズレることで細かな平行な縞（＝軌道縞）が非常にたくさん現れます。さらに、軌道がズレることで副次的な縞ができます。地形が高さをもっていることによる縞（＝地形縞）です。いまや日本には、50ｍの空間分解能で国土地理院のつくった数値標高モデルがあり、また南北60度以内の全世界は、90ｍの空間分解能で米国のジェット推進研究所や米国測地機関がつくった数値標高モデルがあります。それらを使って、人工衛星をコンピュータの中で仮想的に飛ばして地形の補正を行います。最後に、軌道のより高精度な補正や大気中の水蒸気の影響を修正する高次補正を行います。それ以外に電離層の状態がノイズになることもあります。この補正は研究課題が多く、まだ確立していません。最後の軌道補正までは、コンピュータが人手を介さないで全自動で行ってくれます。

地殻変動領域などを集中的に観測

──日本以外の地域では、主にどのような場所を観測していますか？
島田　地殻変動領域でいうと環太平洋造山帯、オーストラリアの東から台湾、日本、千島列島、アリューシャン列島、アラスカ、米国西部カリフォルニアのサンアンドレアス断層、それから今回地震のあった南アメリカ大陸の西側です。それから東南アジア、中央アフリカ、アマゾンの三大熱帯雨林、シベリア、アラスカ、カナダなどの北方林も集中的に観測しています。
──アマゾンの森林破壊などは、PALSARではどのように写りますか。
島田　樹木が密集したところは明るく見えます。伐採したところは暗く写ります。その明るさの度合いは樹木がどのくらいあるかに関係しますので、樹木が密集していないところとか、若い木が生えているところなども見ることができます。これまで伐採などをモニターするためには光学センサーのカラー画像を使っていましたが、光学センサーでは、雲の下が見えません。

アマゾンの木の高さを測る試みも

──アマゾンのあたりは、特に雲が多いところですね。
島田　レーダーは雲があっても、夜でも観測できます。それで、アマゾンの熱帯雨林の状態をPALSARの白黒画像で調べようとしています。それから、PALSARで木の高さを測ってみるということにもトライしています。
──それは、どういう意味をもっているのですか。
島田　木の高さとバイオマス量（生物量）には関係があります。バイオマス量を詳しく測ろうというのは、今、世界的な動きですから。アマゾンの樹木の高さは30ｍくらいあります。樹木のてっぺんで反射してくる電波と、地面から反射してくる電波を計測すれば、PALSARの分解能なら計測が可能なのではないかと思います。
──そのようなアイデアは、そもそもPALSARが開発されている時に、すでにあったものなのでしょうか。
島田　私はPALSARの開発には利用側として参加しました。たぶんアイデアとしてはあったと思いますが、実際にやってみようというところまでは達していなかったと思います。地球観測研究センターとしては、10年先を考えて新しい利用法を考えていきたいと思っています。
──PALSARの新しい利用法として、ほかにもチャレンジングなものはありますか。
島田　南極の氷を観測することになっています。南極には氷の動きが特に速いところが2つくらいあります。南極半島の付け根にあるパインアイランド氷河などです。そのようなところを定期的に観測できれば、南極で氷床がどのくらいの動きをしているかがわかると思います。
──PALSARのデータが蓄積されると、どんどん新しいことがわかっていきそうですね。どうもありがとうございました。

「国際宇宙ステーション利用計画ワークショップ」の司会に挑戦！

宇宙飛行士・山崎直子さんと対談

とてつもない猛暑に襲われた2007年の夏でしたが、この号が出る頃には、ずいぶん涼しくなっていることでしょう。さて、そのまさに猛暑のまっただ中だった８月７日。東京都千代田区の一橋記念講堂で開催された「国際宇宙ステーション利用計画ワークショップ」での司会をおおせつかりました。曝露部（船外実験プラットフォーム）での研究についてはある程度の予備知識はありますが、今回は船内実験室での研究がテーマとのこと。畑違いの微小重力下でのライフサイエンス実験やらマランゴニ対流について、本番まで勉強を重ねました。

いよいよ迎えた当日。司会としては講演者の紹介と会場からの質問の受け付けがメインですが、専門的な質問が続いて研究会ぽくなったり、逆に質問が途切れたりしないよう、自分でもシロウト質問などしながら進行していきます。国際宇宙ステーション内部がハイビジョン画像で紹介された後は、山崎さんとの対談です。

日本人宇宙飛行士が「きぼう」の打ち上げに向けて準備していることや訓練の内容について話していただき、会場からも質問を受け付けていきます。高校の教師をしている方から、子どもたちへのメッセージを求められた山崎さん。

「宇宙飛行士は１人で成り立つ仕事ではなく、チーム全体でいかにいい仕事をするかということが大切です。チームには研究者、エンジニア、医者などさまざまな人がいます。皆それぞれが得意なことを持っているから、チームに貢献できるんです。だから好奇心を大切にして、得意なところを伸ばしてほしいなと思います」

山崎さん自身は、小学生の時から宇宙に興味を持っていたそうです。まさに幼い頃の気持ちを失わず、「得意」を伸ばした方なんですね。

宇宙飛行士としての訓練で辛かったことについてうかがうと、

「語学の勉強、体力トレーニング、プールを使った無重力訓練などいろいろな内容がありますが、いちばん大変だったのはサバイバル訓練です。雪が降り積もるロシアの森でテントを設営し、３日間訓練する、まさに極限状態です」

そんな日々の中、実際に宇宙へ飛び立つまで緊張感を保ち続けるために必要なことは何でしょうか。

「宇宙飛行士として選抜されてから宇宙へ行くまでに10年くらいかかります。その間はペース配分も重要なので、マラソンにすごく近いものがあると思います。それと、たくさんの人と出会って一緒に仕事できることがいい刺激になっていますね」

ワークショップは午前10時半から午後６時までの長丁場でしたが、いろいろいい刺激が得られた一日でした。会場の外はたいへん暑かったですが、雪が降り積もるロシアの森よりはましでしたし。

Seiichi Sakamoto
宇宙科学研究本部 対外協力室 教授。
専門は電波天文学、星間物理学。4月に対外協力室に着任し、
宇宙科学を中心とした広報普及活動をはじめ、
ロケット射場周辺の方々との対話や国際協力など
「たいがいのこと」に挑戦中。

人類が火星で暮らす日のために

地球圏外の極限環境に挑む「宇宙農業」

地球から遠く離れた火星での生活は、自給自足の技術がなければ成り立たない。20年以上にわたり、多くの研究者によって研究されている「宇宙農業」の概念は、人類が確実に安全に生命を維持することが基本となっている。植物を栽培して二酸化炭素と水から酸素と食料をつくる。桑を植林して、その葉でカイコを飼い、育ったさなぎを食料にする。ナトリウムを蓄える塩集積植物「アイスプラント」によりミネラルを補う、といった具体的な研究も進んでいる。

こうした状況について、宇宙科学研究本部で宇宙生物科学・宇宙農学を研究する山下雅道教授に話を聞いた。

宇宙科学研究本部
宇宙環境利用科学
研究系
山下雅道 教授

往復3年かかる火星探査は農業が不可欠

現在行われている国際宇宙ステーションの滞在では、「宇宙農業」はあまりイメージできないかもしれない。しかし将来、月探査から火星探査へと進むにつれて、物質を再生循環して利用する環境では宇宙農業は必然として求められるようになる。その時は、たとえばドーム型のメタリックな建物で、栄養剤のようなコンパクトな宇宙食をつくり、食べるのだろうか。

「鉄でできた部屋なんて、落ち着きませんよ。やっぱり人間が触れる所は、木材などの質感を生かしたものがいいんです」

そう言って山下教授は豪快に笑う。では、食事のほうはどうだろうか。

「『住空間には木』という考えと同じ。食べることも生活の楽しみの重要な要素ですから、見た目もおいしそうで味もよくないと。単に栄養を摂取するということを満たせばいいわけじゃないんです」

地球での暮らしとかけ離れるほど、心身ともに健康なままそれを維持するのは難しいということは想像できる。しかし、そのような環境をつくるためには「自立」が不可欠だ。たとえば、21世紀に人類が暮らす可能性があると言われている火星は、地球から往復するのに少なくとも3年はかかるという。当然、地球からの物資輸送だけでは生活は成り立たない。食物をつくり、水や酸素も供給できる「農業」が鍵となってくるのだ。

問題は、火星の環境である。平均気温は氷点下60度。大気圧は地球の100分の1程度。地表は、レゴリスと呼ばれる岩石の粉で覆われている。酸素は1パーセントをはるかに下回る。このような場所で営まれる農業と、私たちが知っている農業とでは、大きなちがいがありそうだ。

カイコのさなぎは動物性タンパクの最有力候補

「まず、生命を維持するために与圧した温室ドームの建設が必要となりますね」

山下教授によれば、農業のステップは、大きく分けて「バクテリアの利用」、「樹木の利用」、「昆虫の利用」という3つの柱で説明できるという。

「バクテリアの利用は、つまり土づくりです。最初は水耕栽培などで植物を栽培して、人間が食べない部分をバクテリアで処理して堆肥にし、岩石の粉に鋤き込んでいきます。自然に土になるプロセスは、かなり年数がかかります」

そうして土壌ができれば、酸素を生産する樹木を育てることができる。樹木は住空間の資源にも使えるし、地球へ帰還する際の燃料と酸化剤もつくることができるというわけだ。

そして、いよいよ3つめ。「昆虫の利用」は大いに気になるところ。じつは、動物性タンパクとして昆虫を利用するというのである。その最有力候補が「カイコ」のさなぎ。

牛などの動物を飼育するためには、莫大な量の飼料や広いスペースを必要とする。その点、クワの葉だけを食べて成長するカイコは飼いやすい。そして何より、カイコは5000年も前から人間に「家畜」として親しまれてきた歴史があり、その生態は知り尽くされているという利点がある。

上／宇宙では、コメ、ダイズ、サツマイモ、青菜などは十分に生産可能であるとされている。さらにカイコによって動物性タンパクが摂取でき、マユから取れた絹で衣類をつくることも可能だ。
火星での基本食材
（コメ、ダイズ、サツマイモ、青菜、カイコ、ドジョウ、塩。1人、1日分）
下／相模原キャンパスで行っているカイコの飼育風景

生命維持に必要な要素を知ることが大切

「日本でも、虫を食べることはありますよね。カイコのさなぎはエビやカニのような味で、なかなかおいしいものですよ」

とはいえ、一般的にはなじみのない食材であることは確かである。さなぎそのままの姿を食べることに抵抗がある人は少なくないだろう。

「そこで今、家政学部の先生にお願いして、粉末にしたさなぎをいろいろなものに混ぜておいしく食べるという方法を試しています。皆さんがおいしく食べられるものでないといけませんから」

と言いながら見せていただいたのは、試作中の「カイコのさなぎ粉末入りクッキー」。見た目は手作り感あふれる素朴なクッキーだ。山下教授にすすめられ、おそるおそる口にしてみる。

すると、ザクッとした心地よい食感とともに、焼きたての香ばしさが口の中に広がった。意外と言っては失礼だが、おいしい。このほかにも、せんべいやライスバーガー、餅などのレシピが研究されているそうだ。

こうして宇宙で食事を楽しみ、木の家に住み、植物が青々と茂る風景の中で生活する。そんな日は、いったいいつ来るのだろうか。

「100人規模で20年使えるシステムを実現するまでに100年はかかります。たぶん私がそれを見ることはできないでしょうね」

ただ、こうやって空気をつくるようなところから始める宇宙農業で見えてくるものはたくさんあると、山下教授は言う。

「人間1人が1日に吸う空気は8000リットル、水は100リットルを必要とします。エネルギーは50キロワット。家電を使ってということではなくて、生きていくだけでです。宇宙で生活する場合、そういったことをどうするのか、すべて考えなければならない。生命を維持するためには何が必要なのかを知っておくことは、とても大切なことです」

宇宙農業を考えていると、そういったことが非常によくわかるのだという。

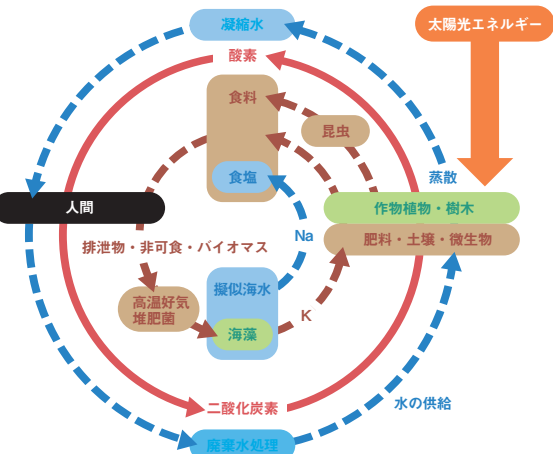
未来のための概念でありながら、じつは人類という生物が生きる根本的なあり方を問われる。それが宇宙農業だ。その技術は、地球や太陽に生かされているということを実感しにくくなっている現代の私たちにこそ、多くのことを問いかけてくるのではないだろうか。

（取材・文／吉田千尋）

名古屋女子大学 家政学部の片山直美先生が試作した「カイコのさなぎ粉末入りクッキー」。宇宙では調理に火が使えないので、すべて電気調理器だけでつくることができる日本食中心のレシピ集も制作している。

葉や茎の表面にナトリウムを蓄える「アイスプラント」という塩集積植物も、ミネラルを補う作物として注目されている。やや肉厚でサクサクとした食感。ほんのりと塩味がする。右円内はアイスプラントの花。
（提供：佐賀大学・野瀬昭博先生）

火星農業での物質の循環

物質の再生には、「水」、「酸素⇔二酸化炭素」、「食料⇔排泄物」の3つの循環があり、宇宙農業では、火星の資源であるレゴリスや岩石に含まれる生元素、大気の成分、地表下の氷を採り入れながら植物を栽培する。

惑星資源
●レゴリス・岩石に含まれる生元素（P、K、Ca、Mg、Feなど）
●大気（二酸化炭素、微量の窒素）
●地表の下の氷

2004年に軟着陸した火星探査車スピリットが撮影した火星の表面。
赤い砂と岩石におおわれた、荒涼とした風景が広がっている（画像提供・NASA）

JAXA最前線

上昇中の機体にはロケット打ち上げ時に見られるリング状の雲（衝撃波）が見える

H-IIAロケット13号機の打ち上げ

INFORMATION 1

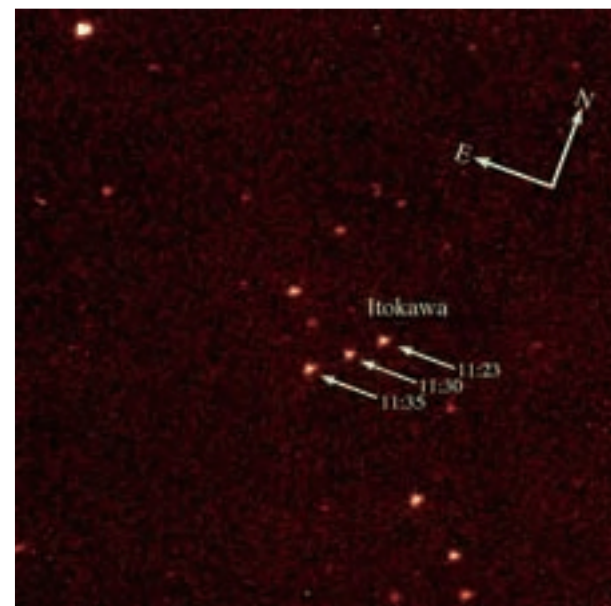
H-IIAロケット13号機で月周回衛星「かぐや」打ち上げ

三菱重工業株式会社とＪＡＸＡは、９月14日午前10時31分01秒、種子島宇宙センターから月周回衛星「かぐや」を搭載したＨ－ⅡＡロケット13号機を打ち上げました。正常に飛行した13号機は、約45分後に「かぐや」を分離し、打ち上げは成功しました。今回は、Ｈ－ⅡＡロケット打ち上げが民間移管されて初めてとなる打ち上げで、「かぐや」は今後、月周回軌道投入に向けて準備を行っていくことになります。

INFORMATION 2

赤外線天文衛星「あかり」が小惑星イトカワの観測に成功

赤外線天文衛星「あかり」は７月26日、小惑星イトカワを観測し、その撮影に成功しました。イトカワは、小惑星探査機「はやぶさ」が目標として飛行し、一昨年９月に到達した小惑星です。その後「はやぶさ」は、2010年の地球帰還に向けて今年４月末に小惑星イトカワを旅立っています。この写真は、「あかり」の観測装置の１つである近・中間赤外線カメラにより、波長７マイクロメートルで捉えたイトカワです。

今回の「あかり」は、地上観測ではデータを取得できない部分も含む複数の赤外線波長帯で、小惑星イトカワを改めて精度よく観測しました。この観測データは、イトカワをはじめとする小惑星の性質をくわしく調べ、また小惑星の大きさを推定する精度をさらに向上させるために、たいへん貴重な情報といえます。

「あかり」が撮影したイトカワ（3枚の画像を重ね合わせてイトカワの動きを示しています）

INFORMATION 3

国際宇宙ステーション組み立ての STS-118ミッションが終了

スペースシャトル119回目の打ち上げとなった「エンデバー号」によるSTS−118ミッションが８月９～22日（日本時間）に行われ、無事終了しました。約13日間の期間中、４回の船外活動を含む国際宇宙ステーションの組み立て・メンテナンス作業が実施され、S5トラスと船外保管プラットフォーム３の取り付けなどが行われました。また、今回のミッションでは、国際宇宙ステーションからスペースシャトルへの電力供給装置が初めて運用され、正常な動作を確認した上でドッキング期間が延長されました。

8月20日、北海道江別市から撮影した国際宇宙ステーション（左）と離脱して帰還間近のSTS-118（右）の軌跡（画面上から下へ飛行）（提供・渡辺和郎さん）

INFORMATION 4

古川聡宇宙飛行士がNASA極限環境ミッション運用（NEEMO）へ参加

サンゴ礁の探査を行う古川宇宙飛行士（左）

古川聡宇宙飛行士は8月6～15日（米国時間）、第13回NASA極限環境ミッション運用（NEEMO 13）訓練に参加しました。NEEMO訓練は、米国フロリダ州沖合の海底約20mに設置された閉鎖施設「アクエリアス」内で生活してリーダーシップやチームワーク、自己管理等の能力向上を図り、国際宇宙ステーション長期滞在ミッションに向けた能力を修得するものです。日本人では、2006年に若田光一宇宙飛行士がコマンダーとして参加しています。

訓練は、実際のミッション同様、ジョンソン宇宙センター管制室からの指示の下で進められました。月・火星探査で必要な作業のシミュレーションという位置づけから、遠隔操作によるローバーとの協調作業や、火星探査を意識した約20分の通信の遅れなども模擬され、現場におけるクルーの自立性を重要視した内容となりました。

古川宇宙飛行士は、国際宇宙ステーションの第18次長期滞在搭乗員支援宇宙飛行士（クルーサポートアストロノート）に任命されており、第18次長期滞在搭乗員全員に対して約６か月のミッション全体に関わる支援を地上で行うことになっています。

INFORMATION 5

釧路市で「宇宙の日」ふれあいフェスティバル2007を開催

９月12日の「宇宙の日」にちなんで毎年行われている「宇宙の日」ふれあいフェスティバルが、今年も文部科学省や国立天文台、ＪＡＸＡなど7団体の主催により、９月15～17日の３日間、北海道の釧路市で開催されました。初日の15日には、昨年話題になった「冥王星」に関する講演や、毎年恒例の小惑星命名イベントなど盛りだくさんの「スペーストークショー」が開かれ、小惑星の名前には、「ヤチボウズ」（釧路湿原に群生する球形の植物）が選ばれました。他にもペットボトルロケット工作など体験型のイベントが数多く開かれ、北海道では初の開催となった今回、３日間で７０００名を超える参加者で賑わいました。

ふれあいフェスティバルでの「ウルトラクイズ」の様子

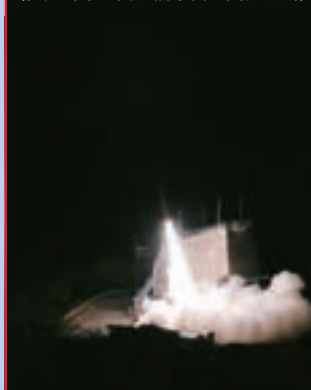
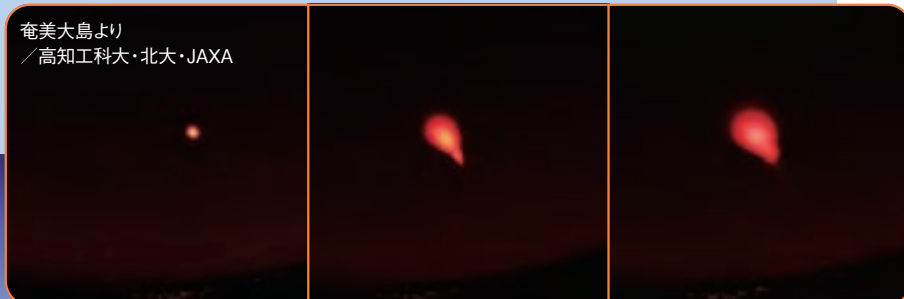
発行企画●JAXA（宇宙航空研究開発機構）
編集制作●財団法人日本宇宙フォーラム
デザイン●Better Days
印刷製本●株式会社ビー・シー・シー

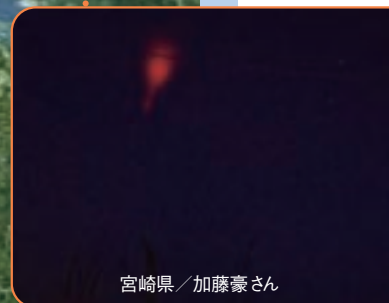
平成19年10月1日発行

各地で「宇宙花火」の観測に成功！

9月２日19時20分、内之浦宇宙空間観測所から観測ロケットS-520-23号機が打ち上げられました。このロケットには国内外の研究機関による10種類の観測機器が搭載されていましたが、なかでも事前に「宇宙花火」と報道され一般からの期待も集まった「リチウム放出による赤い発光雲」は、天候に恵まれ西日本一帯で観測されました。地上観測に関わった高知工科大学／北海道大学チームの写真とともに、各地のアマチュア天文家の方々からご提供いただいた写真もあわせてご紹介します。

奄美大島より
／高知工科大・北大・JAXA

観測用ロケットS-520の打ち上げ
（鹿児島県／内之浦宇宙空間観測所）

徳島県／丸岡一洋さん（海南天文台）

宮崎県／加藤豪さん

神戸市／中村和志さん

背景の地図画像は、JAXA版Google Earth「Pilot View」により「だいち」の観測画像を加工したものです。

宇宙航空研究開発機構
Japan Aerospace Exploration Agency

広報部　〒100-8260 東京都千代田区丸の内1-6-5
丸の内北口ビルディング2階
TEL:03-6266-6400　FAX:03-6266-6910

JAXAホームページ http://www.jaxa.jp
メールサービス http://www.jaxa.jp/pr/mail/